Contrabando nuclear

Se ha fabulado mucho sobre los peligros del mercado negro de material nuclear para la seguridad del mundo. Pero basta que exista la posibilidad de que tenga éxito una sola transacción para que se extreme la vigilancia

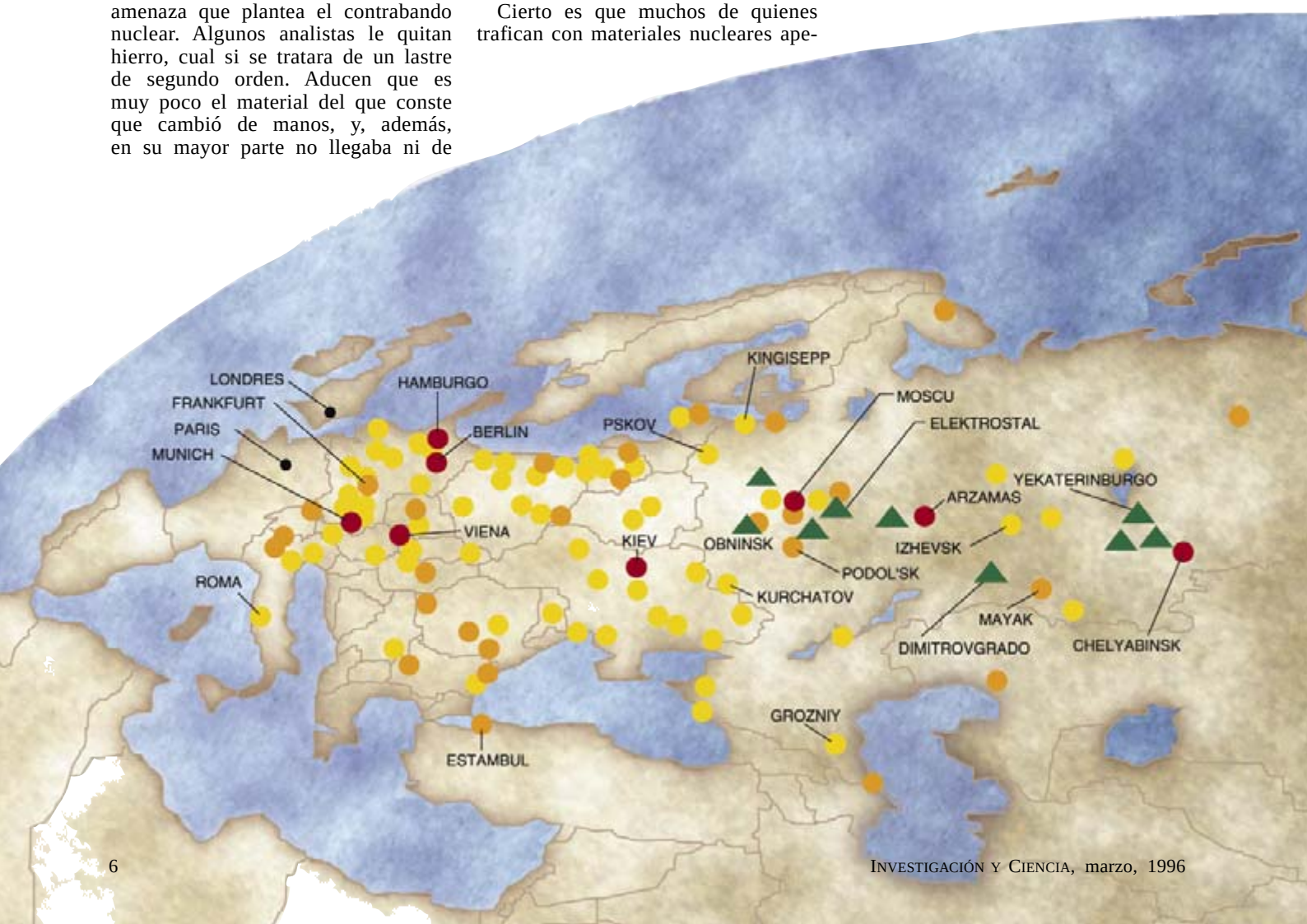
Phil Williams y Paul N. Woessner

En tiempos no muy lejanos, la gente veía en el contrabando una profesión más o menos aventurera, un medio de sortear al fisco y surtir de productos que no podían obtenerse por canales lícitos. En los años setenta y ochenta la droga añadió al problema una dimensión insidiosa. Pero el comercio de uranio y plutonio iniciado en el comienzo de los noventa ha conferido a esa práctica ilegal una importancia sin precedentes en lo que atañe a la seguridad de las naciones.

Pese a ello, no hay unidad de criterio sobre la realidad y el alcance de la amenaza que plantea el contrabando nuclear. Algunos analistas le quitan hierro, cual si se tratara de un lastre de segundo orden. Aducen que es muy poco el material del que conste que cambió de manos, y, además, en su mayor parte no llegaba ni de lejos a la calidad requerida en los usos militares. De los alijos nucleares confiscados por las autoridades occidentales en ningún caso se ha demostrado de forma evidente que procediera de silos armamentísticos. Parte del plutonio que los contrabandistas intentan vender bajo mano procede de detectores de humos. Se insiste, además, en que, entre tales advenedizos, abundan los pícaros que venden elementos estables convertidos transitoriamente en radiactivos por exposición a radiación o que consiguen grandes anticipos fiados en pequeñas muestras.

Cierto es que muchos de quienes trafican con materiales nucleares apenas si conocen exactamente lo que están robando y con lo que están traficando: un contrabandista polaco murió de envenenamiento por radiación tras haber llevado cesio en el bolsillo de la camisa; cierto carnicero de San Petersburgo estuvo guardando uranio en una jarra de salmuera dentro de su refrigerador.

Basándose en la torpeza manifestada por la mayoría de los complots de contrabando descubiertos hasta ahora, algunos observadores bien informados han sugerido que, al menos en Alemania, los únicos compradores son periodistas, policías de los servicios se-



cretos y agentes de espionaje. Algunos van más allá en su escepticismo y sostienen que ni a Irak, Irán, Libia, Corea del Norte u otros estados parias podría interesarles adquirir material nuclear ilícito en unos momentos en que se esfuerzan por normalizar sus relaciones con Occidente.

Con todo, el contrabando nuclear presenta un grave desafío. En el mercado negro de cualquier suerte sólo se ve la punta del iceberg, y no hay razones para suponer que el dedicado al material nuclear constituya una excepción. La policía aprehende como mucho el 40 por ciento de la droga que penetra en Estados Unidos, una fracción que posiblemente será inferior en el caso de Europa occidental. El tráfico de materiales nucleares es obviamente mucho menor, pero los agentes de la ley también poseen mucha menos experiencia en atajar envíos de uranio que en incautar alijos de marihuana o hachís. Caeríamos en la necedad si imagináramos que las autoridades se hacen con más del ochenta por ciento de las transacciones.

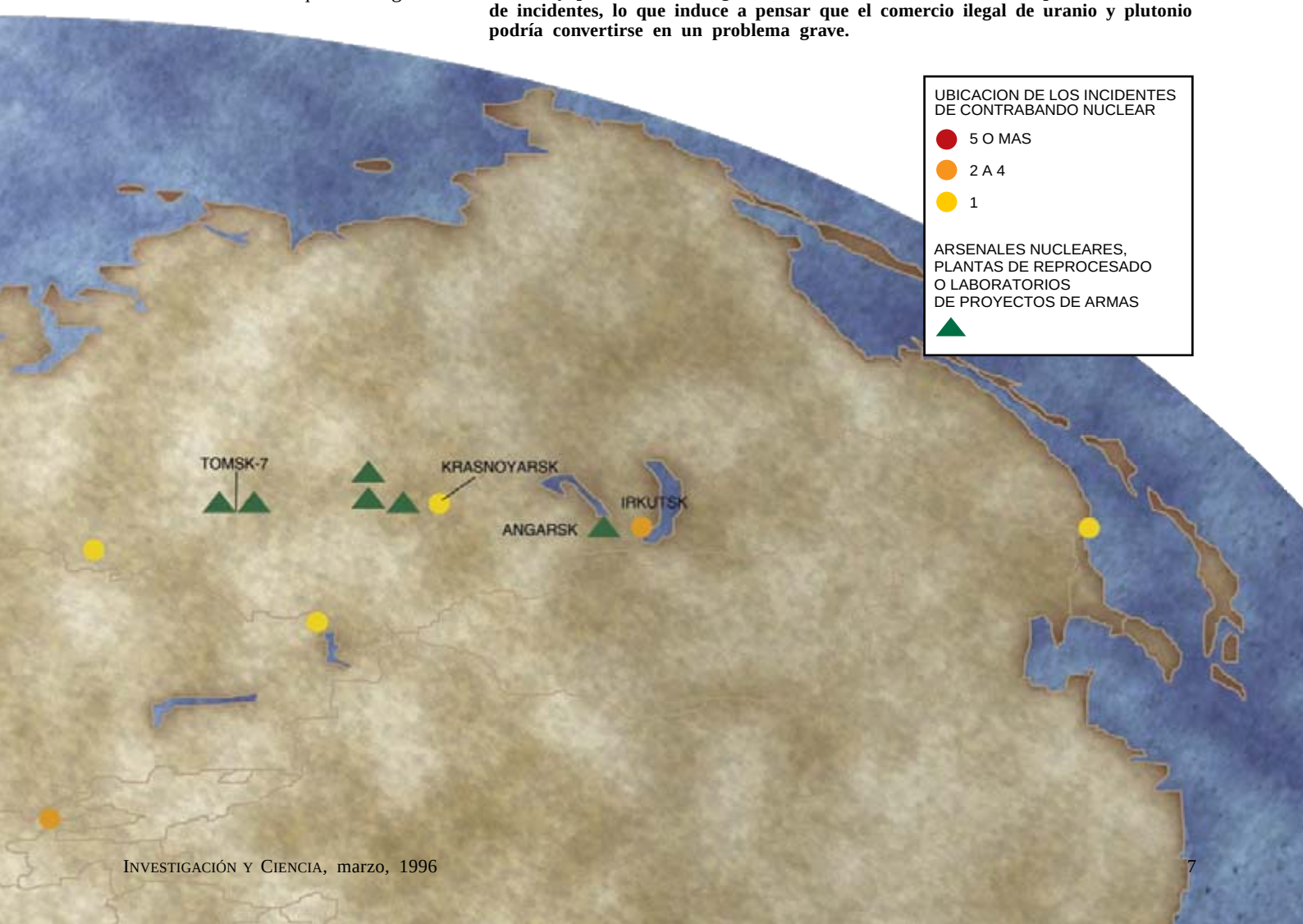
Por otro lado, cualquier montante escapado del control policial, por pequeño que fuera, podría acarrear vastas consecuencias. Aunque las reglas del secreto no permiten obtener cifras exactas, Thomas B. Cochran, del Consejo de Defensa de los Recursos Naturales en Washington, estima que una bomba necesita de tres a 25 kilogramos de uranio enriquecido o de uno a ocho kilogramos de plutonio. Un kilogramo de plutonio ocupa aproximadamente 50,4 centímetros cúbicos, un séptimo del volumen de una lata de refrescos común.

Aun cuando concediéramos que un rastreo exhaustivo de todos los envíos internacionales pudiera aprehender algunos paquetes radiactivos, conviene recordar que el uranio 235 y el plutonio 239, catalogados entre los isótopos muy peligrosos, son sólo débilmente radiactivos; lo que significa que podrían protegerse sin dificultad de la detección por contadores Geiger o aparatos similares. Los equipos de rayos X y de dispersión de neutrones, como los que se instalan en los aeropuertos para detectar explosivos químicos, podrían descubrir en principio radionúclidos; pero no están diseñados para acometer esa tarea y, por consiguiente, su eficacia en la práctica resulta limitada.

La cantidad de material necesario para las armas nucleares es pequeña en términos absolutos, y, minúscula, en comparación con las ingentes reservas de uranio y plutonio altamente enriquecido, sobre todo en Rusia, donde lo mismo el control de inventarios que la seguridad dejan mucho que desear. Las existencias mundiales de plutonio, que en 1992 sumaban 1100 toneladas, en el año 2000 alcanzarán entre 1600 y 1700 toneladas, lo suficiente para fabricar hasta 200.000 bombas de

PHIL WILLIAMS y PAUL N. WOESSNER trabajan en el Centro Ridgway de Estudios sobre la Seguridad Internacional adscrito a la Universidad de Pittsburgh, que dirige el primero y en la que ejerce funciones de investigación el segundo.

1. INCIDENTES relacionados con el contrabando nuclear registrados desde Europa central hasta la ribera rusa del Pacífico (los símbolos representan los lugares de incautación, origen o entrega). En algunos silos se está mejorando la seguridad, pero la moral de los guardianes se ve minada por culpa de la inestabilidad económica y política. A lo largo de los últimos cinco años se han producido cientos de incidentes, lo que induce a pensar que el comercio ilegal de uranio y plutonio podría convertirse en un problema grave.



Bestiario nuclear

	Uso lícito	Uso ilícito
Americio 241	Fuente de partículas alfa para detectores de humos y otros dispositivos	Fraude (sustituto de elementos deseados)
Berilio	Reflector de neutrones en reactores o bombas	Reactores ilegales; armas nucleares
Cesio 137	Fuente de radiación en aplicaciones médicas e industriales; presente en los residuos radiactivos de los reactores	Fraude; asesinato por radiación
Cobalto 60	Fuente de radiación gamma en aplicaciones médicas e industriales	Fraude; asesinato por radiación
Litio 6	Armas termonucleares	Armas termonucleares
Plutonio	Fuente de partículas alfa para detectores de humos; armas nucleares; combustible de reactores nucleares	Fraude; armas nucleares
Polonio 210	Fuente de partículas alfa y de neutrones en aplicaciones industriales	Armas nucleares
Uranio	Combustible de reactores nucleares; armas nucleares	Fraude; armas nucleares
Zirconio	Material estructural de reactores nucleares	Reactores ilegales

10 kilotones. Con el cumplimiento de los tratados de desarme, habrá disponibles, en EE.UU. y Rusia, otras 100 toneladas de plutonio refinado de calidad militar. Por ironía de las cosas, va a resultar que, en el mundo de la posguerra fría, uno de los lugares menos peligrosos para guardar el plutonio sea la cabeza de un misil.

Los Estados Unidos guardan unas 650 toneladas de uranio altamente enriquecido. Otras tantas hay en el bloque de países que antaño formaban la Unión Soviética, donde a la magnitud de las reservas hay que añadir la inquietud que provoca su control laxo incompleto. En particular, los arsenales rusos adolecen de una seguridad poco estricta, una gestión deficiente de los inventarios y unas medidas insuficientes. Los equipos para determinar la cantidad de plutonio producido son primitivos; y sin una referencia clara, es imposible saber lo que podría faltar.

La falta casi absoluta de seguridad en las instalaciones nucleares agrava el problema. El hundimiento del KGB arrastró consigo buena parte del sistema de control nuclear. Bajo el régimen soviético, la seguridad era tan estricta cuan superflua. Los empleados, leales, estaban bien pagados y gozaban de una posición elevada. Pero con la caída de los salarios y las condiciones de vida, el descontento se ha extendido. Con una fuerza laboral sin motivación alguna, pagada mal y tarde, han prendido los estímulos para el robo nuclear, al par que se han minado prohibiciones y controles.

En noviembre de 1993 un ratero penetró por un agujero de una valla en el recinto, supuestamente seguro, del astillero de Sevmorput cerca de Murmansk. Con una sierra para metales abrió el candado que daba acceso a una sección del almacén donde se guardaba combustible para submarinos nucleares; robó piezas de tres montajes de combustible, cada una de ellas con 4,5 kilogramos de uranio enriquecido. Aunque al final se recuperó el uranio, el funcionario que dirigió la investigación, Mikhail Kulik, presentó un informe estremecedor: no había sistemas de alarma, ni luces ni centinelas suficientes. Señaló con causticidad: “Probablemente hoy se custodien las patatas mucho mejor que los materiales radiactivos.” Las mejoras de seguridad introducidas en la base a raíz del incidente han sido muy modestas.

La situación no está degradada del todo. Según informes, algunas de las ciudades nucleares (polígonos antaño secretos donde se diseñaban y fabricaban bombas) cuentan con sistemas idóneos de seguridad y allí los controles sobre los materiales de calidad militar suelen ser más rigurosos que los observados sobre materiales de nivel inferior. Aunque se dice que, durante 1995, se dobló el número de intentos de penetrar en la zona prohibida de Arzamas-16 (laboratorio ruso de diseño de armas, homólogo del norteamericano Laboratorio Nacional de Los Alamos), parece que conserva un sistema eficaz de seguridad. Además, Rusia está empeñada en restablecer los niveles de seguridad para toda su industria nuclear; en algunos casos, como en el Instituto Kurchatov de Energía Atómica en Moscú, con la ayuda directa de EE.UU. Pero se trata de una tarea titánica. Dispersos por la antigua Unión Soviética hay un millar de silos de uranio y plutonio enriquecido.

Con semejante telón de fondo, a nadie sorprenderá que el número de incidentes relacionados con el contrabando nuclear (reales o supuestos) haya aumentado durante los últimos años. Las autoridades alemanas informaron de 41 en 1991, de 158 en 1992, de 241 en 1993 y de 267 en 1994. Aunque en su mayoría no afectaban a materiales adecuados para

bombas, conforme aumenta el número de incidentes aumenta también la probabilidad de que algunos por lo menos incluyan aleaciones aptas para armas.

En marzo de 1993, según un informe procedente de Estambul, entraron en Turquía seis kilogramos de uranio enriquecido a través del puesto fronterizo de Aralik, en la provincia de Kars. De acuerdo con todos los indicios, el material había ido de Taskent a Grozny; en esta plaza intervinieron grupos de delincuentes chechenos. De Grozny el material pasó a Nakhichevan vía Georgia, antes de llegar a Estambul. Aunque no se confirmó oficialmente ni el incidente ni el grado de enriquecimiento del uranio, corrió el temor de que grupos de la "mafia" chechena hubieran obtenido uranio enriquecido de Kazakstán. El acuerdo firmado en 1994 entre Kazakstán y los Estados Unidos sobre transferencia a Norteamérica de uranio enriquecido respalda la posibilidad del mencionado rumor.

En octubre de 1993 la policía incautó en Estambul 2,5 kilogramos de uranio 238 y detuvo a cuatro hombres de negocios turcos, junto a cuatro agentes sospechosos del servicio secreto iraní. Una revista de Munich publicó más tarde que el uranio podría haber llegado a Turquía vía Alemania. Según uno de los detenidos turcos (un profesor universitario que ya había estado implicado en el contrabando de antigüedades), el uranio fue enviado a Estambul por cómplices en una avioneta Cessna desde Hartemholm, aeródromo privado cercano a Hamburgo propiedad de comerciantes de armas iraníes.

2. LINGOTE DE URANIO AGOTADO, de unos siete kilogramos de peso. Cabe perfectamente en la mano de Thomas B. Cochran, físico adscrito al Consejo de Defensa de los Recursos Naturales, en Washington. En su opinión, bastaría una cantidad similar de material de calidad militar para construir una bomba capaz de destruir una ciudad pequeña.

En lo que supone un paso significativo, en 1994 se produjeron varios incidentes relativos a material que era de calidad militar o muy próxima a ello. El 10 de mayo, la policía de Tengen (Alemania) halló seis gramos de plutonio 239 en el registro del domicilio de un hombre de negocios llamado Adolf Jaekle, mientras buscaba pruebas de contrabando de otro tipo de mercancía. Los funcionarios se encontraron por casualidad con el plutonio, escondido en un recipiente del garaje. Jaekle disponía de amplios contactos; entre éstos, con antiguos oficiales del KGB y la Stasi (policía secreta de la antigua Alemania del Este). También estaba relacionado con Kintex, compañía de armas búlgara sobre la que, desde hace tiempo, corre la sospecha de múltiples actividades infames. Aunque se han disipado gran parte de las especulaciones iniciales, siguen abiertas varias cuestiones inquietantes acerca del caso Jaekle. Resultaría imprudente excluir la posibilidad de que el uranio fuese sólo una muestra de una transacción mucho mayor.

El 10 de agosto las autoridades de Munich detuvieron a dos ciudadanos españoles y un dentista colombiano en posesión de 363,4 gramos de plutonio de alta ley y 201 gramos de litio 6 (un componente de las bombas de hidrógeno). Habían traído el contrabando hasta Munich desde Moscú en un vuelo de Lufthansa. Se les detuvo con mucha espectacularidad: como se descubrió más tarde, habían sido agentes de la BND, el servicio de inteligencia federal alemán, los que indujeron a aquellos traficantes esporádicos a introducir el material nuclear.

La operación desencadenó, en efecto, una acalorada polémica en Alemania. Se acusó al servicio secreto de propiciar el contrabando nuclear en vez de atajarlo. Ninguno de los tres inculpados tenía relación con el narcotráfico colombiano ni con el terrorismo separatista vasco. No había pruebas de que fueran contrabandistas experimentados. Simplemente pasaban apuros financieros y pretendieron resolverlos vendiendo el litio y el plutonio. Sin embargo, en medio de la controversia acerca de la corrección y oportunidad de las acciones de la BND se perdió de vista un aspecto importante. Pese a ser aficionados, adquirieron una cantidad importante de plutonio de alta ley.

Meses después, el 14 de diciembre, la policía detuvo en Praga a tres hombres que viajaban en un automóvil con 2,7 kilogramos de uranio 235 altamente enriquecido (87,7 por ciento). Dos de ellos eran expertos nucleares que habían llegado a la República Checa ese mismo año de 1994: un ruso procedente de una población cercana a Obninsk y un bielorruso de Minsk. El tercero era un físico nuclear checo, Jaroslav Vagner, que hacía varios años había dejado oficialmente su empleo en la industria nuclear. A mediados de 1994 había aparecido una muestra de uranio de enriquecimiento similar en Landshut (Baviera); el 22 de marzo de 1995, dos hombres más, uno de ellos oficial de la policía, fueron arrestados con relación al incidente de diciembre.

Las bombas y el hampa

Aunque los países instalados al margen de la ley constituyan, sin duda, los principales clientes del mercado negro de armas nucleares, resulta evidente el peligro de que la delincuencia organizada y grupos terroristas puedan sumarse al club nuclear. Entre el tráfico de material nuclear y su uso directo no hay más que un paso, nada difícil de dar: los asesinos ya han recurrido para su propósito al uso de isótopos radiactivos. A finales de 1993, la "mafia" rusa instaló pastillas emisoras de rayos gamma en la oficina de un hombre de negocios moscovita, que le causó la muerte en menos de tres meses. Desde entonces, se han producido en Rusia, que se conozcan, una docena de incidentes similares.

Cualquier organización criminal podría asimismo emplear radionúclidos para extorsionar a gobiernos y empresas. Para un chantajista nuclear sería bastante sencillo avalar su credibilidad adelantando una muestra para análisis. La amenaza ulterior con contaminar los conductos de aire o las cañerías del agua corriente, e incluso detonar una pequeña arma nuclear, podría ejercer una presión oprimente. Tampoco debe excluirse que cualquier organización terrorista o culto extremista, recuérdese el que lanzó gas nervioso en el metro de Tokio en 1995, pudieran adquirir materiales radiactivos.

Aun cuando ninguno de esos grupos consiguiera uranio o plutonio suficientes para construir una arma de fisión, podría mezclar isótopos inestables con explosivos clásicos para provocar una contaminación generalizada. Por ejemplo, si los terroristas que colocaron la bomba en el World Trade Center de la ciudad de Nueva York hubieran hecho uso de sustancias radiactivas, el recuento de muertos los reseñaría por miles y se habría hecho inhabitable un importante distrito de negocios.

P. W. y *P. N. W.*

Al menos en Alemania, los casos de contrabando han disminuido desde que se dio sonora publicidad a las detenciones mencionadas. Todo indica que los traficantes han tomado otras rutas. Algunos han atravesado Suiza y Austria camino de Italia. Pero la mayoría podría estar dirigiéndose hacia el sur a través de las repúblicas de Asia Central y el mar Negro. Tal como ha apuntado David Kay, antiguo inspector de la Agencia Internacional de Energía Atómica, esas rutas son las mismas que seguían, en sentido inverso, los agentes del KGB en su introducción fraudulenta de productos occidentales en la antigua Unión Soviética. Se trata de regiones donde los controles fronterizos son menores que los que conducen a Europa occidental y los clientes potenciales se hallan más próximos.

Algunos de los alijos aprehendidos en Alemania y Turquía dejan fuera de duda que los estados al margen de la ley como Irán podrían estar procurándose material nuclear de alta calidad. Más: algunos, tal parece, han montado sus propias redes. Libia e Irak tienen experiencia en tales procedimientos; crean empresas de fachada para tapar el mercado negro de productos precursores y equipos que les permitan fabricar armas químicas.

Por si fuera poco, y como se infiere del caso Jaekle, los contrabandistas no son ahora torpes intrusos. Aunque no exista una mafia nuclear monolítica, ex-espías pertenecientes a los países del antiguo bloque soviético parecen estar adquiriendo un papel dirigente en las redes profesionales. A ellos se han unido empresarios, relacionados por lo común con el negocio de las armas, cuyas actividades forman un espectro continuo que va desde lo legal hasta lo ilegal, pasando por lo dudoso.

Puesto que el contrabando nuclear es un negocio de grandes posibilidades lucrativas, nada tiene de extraño la intervención de la delincuencia organizada. Algunas bandas turcas parecen andar involucradas en este comercio; tras haberse graduado en la exportación ilegal de antigüedades, el uranio se ha convertido para ellas en una mercancía más.

En Italia, Romano Dolce, un magistrado que investigaba el comercio nuclear, fue detenido por participar en los mismos delitos que perseguía. Tamaño escándalo planteó la duda fundada de si no se habría centrado en algunos casos al objeto de desviar la atención de otras transacciones de mayor calado.

Pero la cuestión más preocupante concierne a la participación de la delincuencia organizada rusa. Aunque el tráfico nuclear no parezca contarse entre sus prioridades (hay otras actividades más lucrativas a corto plazo y menos arriesgadas), se multiplican las pruebas de la orientación de grupos criminales rusos hacia el mercado negro radiactivo.

Se han realizado esfuerzos serios para atajar el problema de raíz. Sin embargo, la comunidad internacional ha respondido con lentitud a los peligros que presenta el contrabando nuclear. La oficina rusa de supervisión nuclear (GAN) cuenta ahora con 1200 empleados, pero se desconoce la autoridad que realmente pueda ejercer sobre la antigua burocracia nuclear, lo mismo civil que militar.

Además, aun cuando el GAN tenga éxito, se tardará varios años en poner al día los dispositivos de seguridad. Nadie se imagina que los traficantes vayan a permanecer en huelga de brazos caídos. Por consiguiente, para cosechar buenos resultados habría que disponer, en estos años que quedan antes del cambio de milenio, de eficaces servicios de información y de mecanismos de aplicación rigurosa de la ley. Sin embargo, las instituciones internacionales no se han prestado

todavía a ofrecer la necesaria colaboración a quienes tienen la responsabilidad de detener el comercio ilegal. La IAEA y la Sección de Prevención del Delito y de Justicia Criminal de las Naciones Unidas tienen ambas su sede en el Centro Internacional de Viena, pero las normas de la IAEA le impiden comprometerse en actividades de investigación. Lo que quiere decir que las relaciones entre una y otra han sido fragmentarias e inconexas.

Mientras tanto, el gobierno norteamericano ha reaccionado mal y sin un plan coordinado ante el problema que plantea el mercado negro de material nuclear. Desde 1994, el FBI tomó la dirección y ha venido trabajando estrechamente con la Agencia de Defensa Nuclear y la Agencia de Inteligencia de la Defensa. Pero el país dista todavía de emprender una política comprehensiva.

Sugerimos que, cuanto antes, se tomen medidas coordinadas de alcance transnacional que impidan el robo en los puntos de origen, intercepten el tráfico y disuadan a los compradores. Los Estados Unidos, Alemania, Rusia y otros países a quienes atañe el problema nuclear deberían crear un "equipo volante", que contara con una sección de investigación, medios para acciones contraterroristas y contraextorsión y un equipo para tomar las riendas ante la eventualidad de un desastre.

Podría objetársenos que estamos delirando, sobre todo si se parte de la resistencia que todavía se opone a reconocer la gravedad de la amenaza. Pero sería una tragedia que los gobiernos se vieran forzados a tomar medidas más radicales como consecuencia de una catástrofe nuclear.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

"POTATOES WERE GUARDED BETTER". Oleg Bukharin y William Potter en *Bulletin of the Atomic Scientists*, vol. 51, n.º 3, páginas 46-50, mayo-junio 1995.

CHRONOLOGY OF NUCLEAR SMUGGLING INCIDENTS: JULY 1994-JUNE 1995. Paul N. Woessner en *Transnational Organized Crime*, vol. 1, n.º 2, páginas 288-329; verano 1995.

NUCLEAR MATERIAL TRAFFICKING: AN INTERIM ASSESSMENT. Phil Williams y Paul N. Woessner en *Transnational Organized Crime*, volumen 1, n.º 2, páginas 206-238, verano 1995.

INVESTIGACION y CIENCIA

Marzo de 1996 Número 234

6

Contrabando nuclear
Phil Williams y Paul N. Woessner

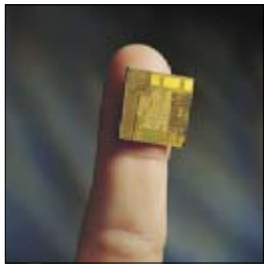
La cantidad de plutonio necesaria para fabricar una bomba nuclear cabría en dos latas de refresco. Para otros actos de terrorismo se requiere mucho menos. Si a esas facilidades añadimos la desidia y relajación con que se controlan las reservas nucleares en Rusia y otros lugares, nos daremos cuenta cabal del peligro que encierra un mercado negro de materiales radiactivos.

12

Restricción calórica y envejecimiento
Richard Weindruch

Para prolongar la juventud y vivir más, habrá que ir olvidándose de las calorías innecesarias sin por ello pasar hambre. Desde los unicelulares hasta los mamíferos, los organismos alargan su esperanza de vida con una dieta baja en calorías, aunque equilibrada en otros nutrientes básicos. La investigación en ratones comienza a desentrañar el misterio de la longevidad.

20



Futuro de la industria de los semiconductores
G. Dan Hutcheson y Jerry D. Hutcheson

Se oye por doquier que no se puede avanzar más en la fabricación de microcircuitos. Pero el hombre siempre se las ha ingeniado para vencer los obstáculos. El coste astrónomico que requiere hoy la construcción de una nueva planta pone también coto a las posibilidades de mejora. La solución podría hallarse en crear una mayor oferta, y más diversificada, de productos.

40

Redes nerviosas para la locomoción de los vertebrados
Sten Grillner

¿Cómo coordina el cerebro los músculos que intervienen en la marcha, la carrera o la natación? Su intervención es limitada, ya que cede parte del control a sistemas espinales. El estudio llevado a cabo en la lamprea, un pez primitivo, ha desentrañado la estructura del circuito implicado. De ese conocimiento podrían beneficiarse quienes han perdido motilidad en un accidente.

46

Bases moleculares del tétanos y del botulismo
Giampietro Schiavo, Ornella Rosetto y Cesare Montecucco

Casi medio millón de niños mueren todavía de tétanos. La cifra de adultos es también escalofriante allí donde no se ha generalizado la vacuna. El botulismo, por contra, centra su poder agresivo en los animales. Ambas enfermedades están causadas por proteasas tóxicas que penetran en el interior de las células nerviosas y bloquean la liberación de neurotransmisores.

Portada: Slim Films

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
6-7	Laurie Grace
8	Karl Gude (*dibujos*)
9	Katherine Lambert
10	Brandon Cruse
12-13	Suzanne Barnes
14	Lisa Burnett (*gráficos*); fotografía cortesía de Richard Weindruch
15	Richard Weindruch
16	Tomo Narashima (*arriba*); Dana Burns-Pizer (*abajo*)
17	Karl Gude; fotografías de Kirk Boehm, Centro Regional de Investigación de Primates en Wisconsin
18	Karl Gude; fuente: Roy L. Walford, Universidad de California en Los Angeles
21	Scot Hill
22	Jared Schneidman Design
23	Lisa Burnett
24-25	Lisa Braiman
26	Scot Hill
41	Slim Films
42	Roberto Osti
43	Roberto Osti; Tony Sica, *Gamma Liaison* (*inserto fotográfico*)
44	Carey Ballard
45	Örjan Ekeberg, Instituto Real de Tecnología, Estocolmo
46	Grabado de *Anatomy and Philosophy of Expression*, 1832
47-54	Le Science
56-57	Laboratorio de Propulsión a Chorro/NASA (*detalle y Venus*); Tom Van Sant, Proyecto Geosfera (*Tierra*); NASA (*Luna*)
58	Jana Brenning
59-60	Michael Goodman
61	Administración Nacional para la Aeronáutica y el Espacio
65-69	Domènec Campillo y Josep Gibert
70-71	Al Kamajian
72-73	Laurie Grace
74-75	Fotografías de Madhusree Mukerjee
76	Laurie Grace
84	Michael Goodman
85	Laboratorio Cornell de Ornitología
87-88	Johnny Johnson

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

J. Vilardell: *Contrabando nuclear*, *Hace...* y *Taller y laboratorio*; Ana M.ª Rubio: *Restricción calórica y envejecimiento*; Esteban Santiago: *Redes nerviosas para la locomoción de los vertebrados*; José M.ª Valderas Martínez: *Bases moleculares del tétanos y del botulismo*; Montserrat Domingo: *Evolución de la corteza continental*; Juan Pedro Campos: *Explicación de todo*; Angel Garcimartín: *Perfiles*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*

Ciencia y sociedad: Diana Estévez

Ciencia y empresa: Manuel Puigcerver

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
EDICIONES José María Valderas, *director*
ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
Carmen Lebrón Pérez
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Marguerite Holloway, *News Editor*; Ricki L. Rusting, *Associate Editor*; Timothy M. Beardsley; W. Wayt Gibbs; John Horgan, *Senior Writer*; Kristin Leutwyler; Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; Corey S. Powell; David A. Schneider; Gary Stix; Paul Wallich; Philip M. Yam; Glenn Zorpette
PRODUCTION Richard Sasso
CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley
CO-CHAIRMAN Dr. Pierre Gerckens

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44
Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	9.700	17.800

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas
Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

—En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA
Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, bajo, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:
Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. (93) 321 21 14
Fax (93) 414 54 13

Difusión controlada

Copyright © 1996 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1996 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocromos reproducidos por Scan V2, S.A., Avda. Carrilet, 237 – 08907 L'Hospitalet (Barcelona)
Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España